

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



9-8181

В.С.Александров, Л.С.Барабаш, И.А.Голутвин,
Н.Ю.Казаринов, Н.А.Невская, Э.А.Перельштейн,
А.Г.Федунов, Ю.А.Яцуенко

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРИ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ В АДГЕЗАТОРЕ
УСКОРИТЕЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

A16; F50

1974

ОТДЕЛ НОВЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.

Ранг публикаций Объединенного института ядерных исследований

Препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований /ОИЯИ/ являются самостоятельными публикациями. Они издаются в соответствии со ст. 4 Устава ОИЯИ. Отличие препринтов от сообщений заключается в том, что текст препринта будет впоследствии воспроизведен в каком-либо научном журнале или аперодическом сборнике.

Индексация

Препринты, сообщения и депонированные публикации ОИЯИ имеют единую нарастающую порядковую нумерацию, составляющую последние 4 цифры индекса.

Первый знак индекса - буквенный - может быть представлен в 3 вариантах:

“Р” - издание на русском языке;

“Е” - издание на английском языке;

“Д” - работа публикуется на русском и английском языках.

Препринты и сообщения, которые рассылаются только в страны-участницы ОИЯИ, буквенных индексов не имеют.

Цифра, следующая за буквенным обозначением, определяет тематическую категорию данной публикации. Перечень тематических категорий изданий ОИЯИ периодически рассылается их получателям.

Индексы, описанные выше, проставляются в правом верхнем углу на обложке и титульном листе каждого издания.

Ссылки

В библиографических ссылках на препринты и сообщения ОИЯИ мы рекомендуем указывать: инициалы и фамилию автора, далее - сокращенное наименование института-издателя, индекс, место и год издания.

Пример библиографической ссылки:

И.И.Иванов. ОИЯИ, Р2-4985, Дубна, 1971.

9-8181

**В.С.Александров, Л.С.Барабаш, И.А.Голутвин,
Н.Ю.Казаринов, Н.А.Невская, Э.А.Перельштейн,
А.Г.Федунов, Ю.А.Яцуенко**

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРИ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ В АДГЕЗАТОРЕ
УСКОРИТЕЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ**

Александров В.С., Барабаш Л.С., Голутвин И.А.,
Казаринов Н.Ю., Невская Н.А., Перельштейн Э.А.,
Федунов А.Г., Яцуненко Ю.А.

9-8181

Организация программного обеспечения при магнитных измерениях
в адгезаторе ускорителя тяжелых ионов

Приведено описание комплекса программ, использованных в работе по формированию импульсного магнитного поля в адгезаторе ускорителя многозарядных ионов. Описываются режимы измерений пространственных и временных распределений магнитного поля и его показания спада, исследуется работа программ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

Для формирования и сжатия электронного кольца в компрессоре коллективного ускорителя тяжелых ионов /1/, разрабатываемого в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ, необходимо обеспечить определенное временное и пространственное распределение магнитного поля в камере адгезатора. Это поле создается тремя парами импульсных катушек, через которые пропускаются токи до 6 кА. Управление токами осуществляется специальными импульсными коммутаторами, выполненными на основе тиристорных блоков.

Блок-схема автоматизированной системы измерения и формирования магнитного поля показана на рис. 1. Электронная аппаратура, выполненная в стандарте КАМАК, работала на линии с ЭВМ М-6000. Схема размещения ЭВМ М-6000 и периферических устройств приведена на рис. 2.

Измерялись азимутальное распределение магнитного поля на разных радиусах

$$H = H(\phi) \quad /1/$$

и показатель спада магнитного поля n , как функция радиуса R , при временах t_γ , соответствующих такому значению поля $H(t)$, при котором электронное кольцо с начальной энергией электронов γ сожмется до радиуса R /равновесное время/

$$n(R, t_\gamma) = - \frac{R}{H(R, t_\gamma)} \cdot \frac{\partial}{\partial R} H(R, t_\gamma), \quad /2/$$

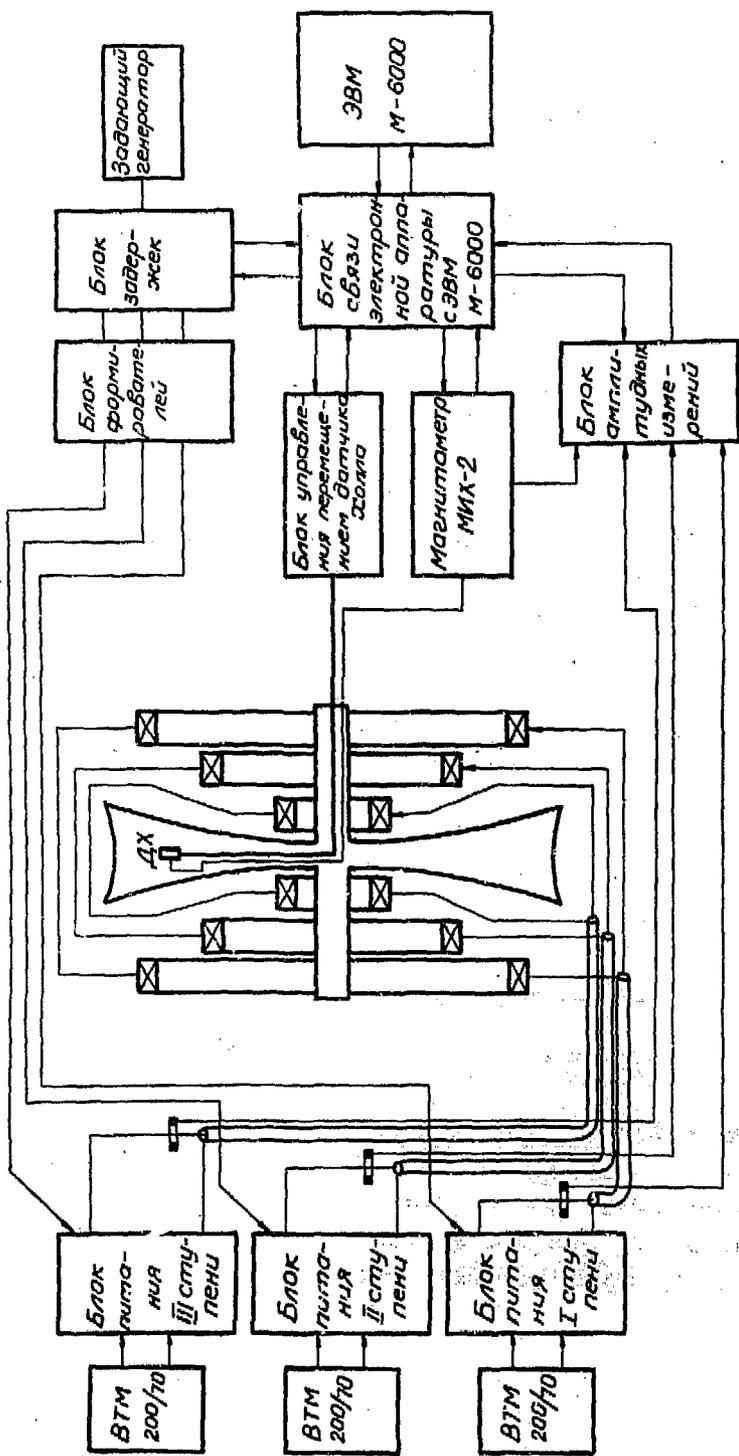


Рис. 1. Блок-схема автоматизированной системы изменения и формирования магнитного поля.

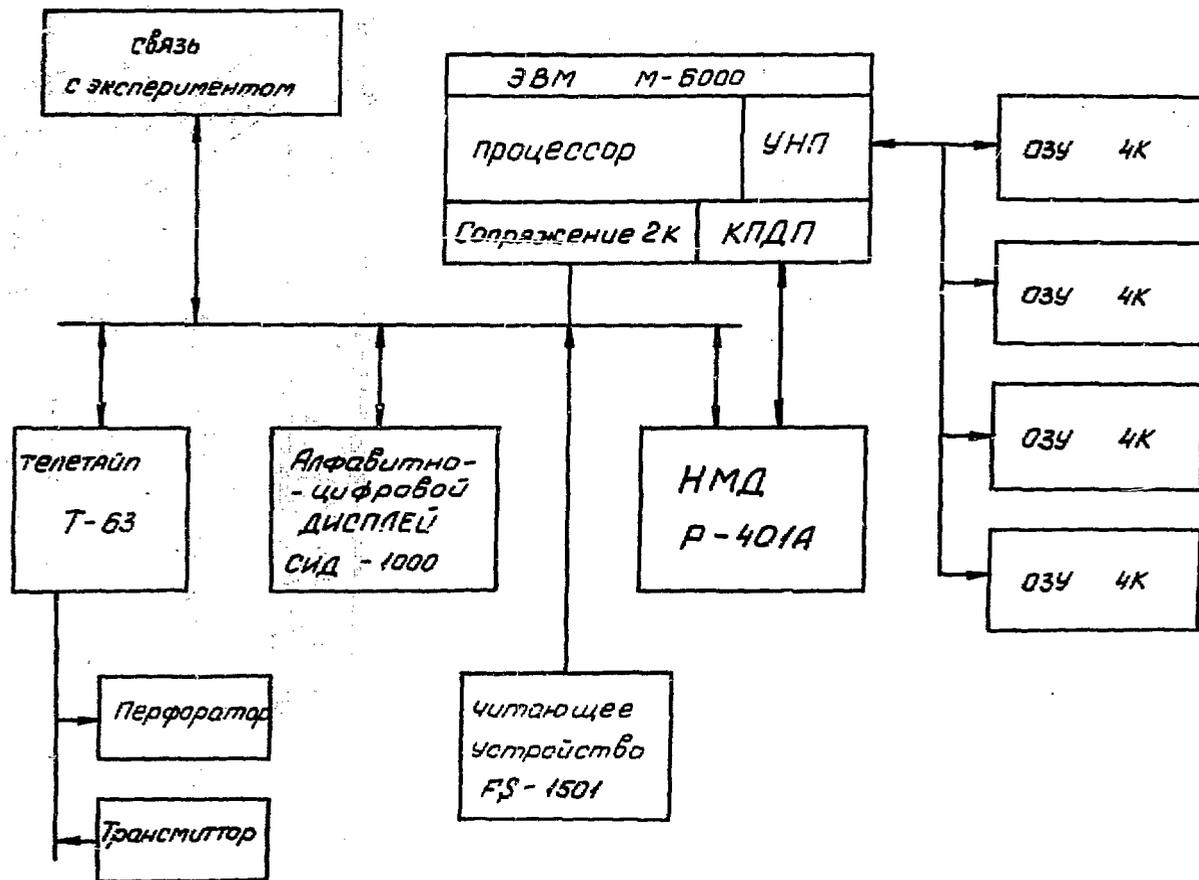


Рис. 2. Схема размещения ЭВМ М-6000 и периферических устройств.

В задачи программного обеспечения магнитных измерений входило:

- 1/ управление измерениями;
- 2/ прием и обработка данных;
- 3/ контроль измерительной аппаратуры.

Для выполнения этих задач была создана основная управляющая и обрабатывающая программа "EXP". Функциональная схема программы приведена на рис. 3. Программа "EXP" работает в двух режимах:

а/ "R" - режим; измерение магнитного поля

$$H = H(R, t_{\gamma}), \quad /3/$$

результатом которых является табличная функция показателя спада поля /2/

$$n = n(R, t_{\gamma}); \quad /4/$$

б/ "φ" - режим; измерение азимутальной неоднородности поля /1/.

Работа программы "EXP" в режиме "R".

Перед началом работы указываются границы массива измерений: N - число точек по R ; R_{in} - начальный радиус, ΔR - шаг по радиусу, G - набор начальных энергий и заносится предварительно определенный массив равновесных времен $T_0(R)$. Эти данные вводятся в память ЭВМ с помощью подпрограммы /п.п./ "TRAL".

В процессе измерений для каждого R_i

$$R_i = R_{in} - \Delta R \cdot (i - 1), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad /5/$$

организуется цикл по переменной G : для каждого j формируется массив из трех времен измерений

$$T_j(R_k), \quad j = 1, 2, \dots, G; \quad k = i-1, i, i+1 \quad /6/$$

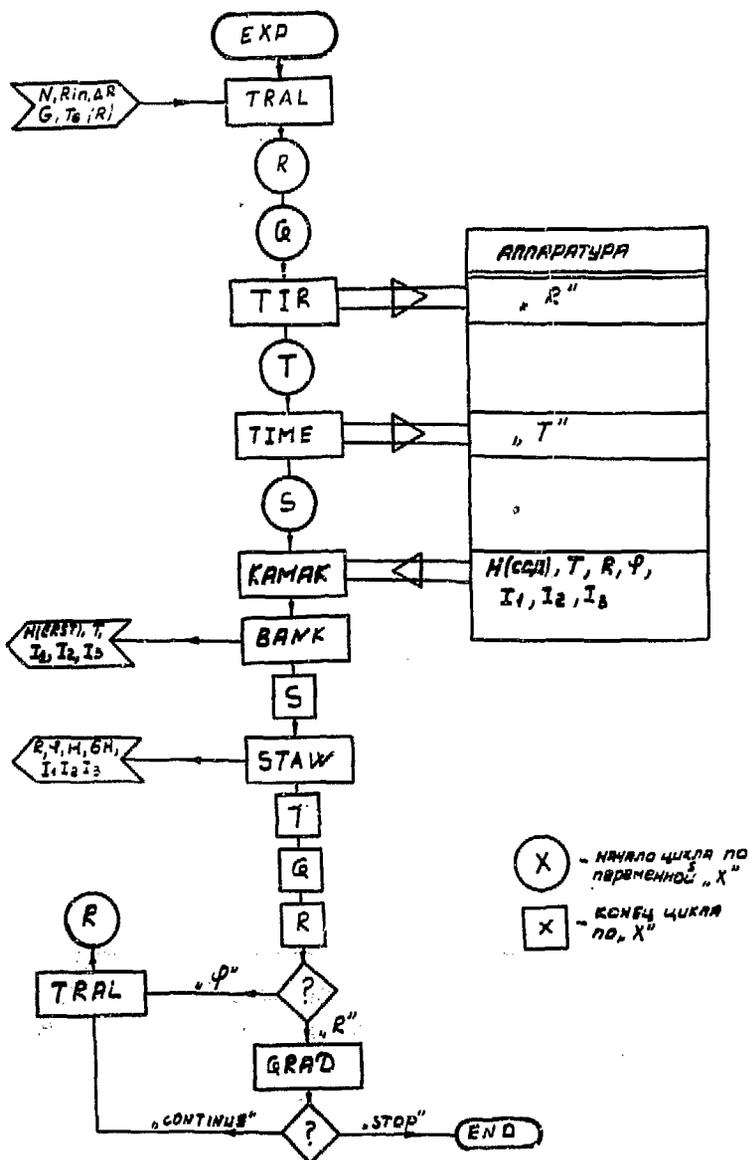


Рис. 3. Функциональная схема программы "EXP".

для последующего численного дифференцирования по трем точкам. Этот массив /6/ формируется из равновесных времен в подпрограмме "TIR". Время измерения /6/ последовательно заносится в аппаратуру с помощью подпрограммы "TME". С целью повышения точности измерения производится несколько раз при одном времени /статистический цикл "S"/. Подпрограмма "КА-МАК", служащая для связи ЭВМ с аппаратурой /так же как "TIR" и "TME"/, принимает измеряемую информацию; поле Н в показаниях кодировщика, время измерения - для контроля с /6/, время включения трех катушек, создающих магнитное поле - для контроля стабильности соответствующей аппаратуры, радиус R, азимут ϕ и амплитуды токов, питающих катушки I_1, I_2, I_3 . Эти данные, переведенные в физические единицы измерений, выводятся на дисплей и заносятся в память ЭВМ /п.п. "BANK"/.

Далее происходит статистическая обработка результатов /п.п. "STAW"/: после трехкратной браковки по тройной дисперсии вычисляются среднее значение поля и дисперсия. Результаты обработки выводятся на дисплей и телетайп, в памяти ЭВМ формируются таблицы:

$$H_{ijk} = H [R_i, T_j (R_k)], \quad /7/$$

$$\sigma_{ijk} = \sigma [R_i, T_j (R_k)]. \quad /8/$$

По окончании измерений управление передается в п.п. "GRAND", где для каждого j вычисляется и выводится на печать показатель спада магнитного поля в виде таблицы

$$n_j [R_i, T_j (R_i)] = \frac{0,5 \cdot R_i}{\Delta R \cdot H_{iji}} \cdot (H_{i-1ji-1} - H_{i+1ji+1}) /9/$$

и абсолютная ошибка $n - \sigma_n$;

$$\sigma_n = n \cdot \left[\left(\frac{\sigma_{i-1ji-1} + \sigma_{iji}}{H_{i-1ji-1} - H_{iji}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{iji} + \sigma_{i+1ji+1}}{H_{iji} - H_{i+1ji+1}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

N	TJD	TMD	PHY	R	NST	NW	H-COD	D(H-C)	H-ERST	J-KV
1	6500	3810	30	410	10	0	525.68	.50	266.77	27.83
2	6500	3810	30	400	10	0	556.71	.58	283.35	27.83
3	6500	3810	30	390	10	0	588.74	.48	300.99	27.80
4	6500	3810	30	380	10	0	619.58	.56	318.04	27.77
5	6500	3810	30	370	10	0	649.37	.41	334.55	27.83
6	6500	3810	30	360	10	0	679.13	.31	351.04	27.80
7	6500	3810	30	350	10	0	706.31	.38	366.14	27.80
8	6500	3810	30	340	10	0	732.22	.60	380.67	27.83
9	6500	3810	30	330	10	0	758.05	.32	395.16	27.83
10	6500	3810	30	320	10	0	782.56	.58	408.91	27.83
11	6500	3810	30	310	10	0	806.50	.42	422.30	27.86
12	6500	3810	30	300	10	0	830.48	.60	435.56	27.83
13	6500	3810	30	290	10	0	851.53	.53	447.25	27.86
14	6500	3810	30	280	10	0	873.04	.71	459.16	27.86
15	6500	3810	30	270	10	0	893.61	.49	470.56	27.86
16	6500	3810	30	260	10	0	912.73	.52	481.19	27.86
17	6500	3810	30	250	10	0	931.86	.42	491.85	27.89
18	6500	3810	30	240	10	0	949.39	.53	501.61	27.83
19	6500	3810	30	230	10	0	966.50	.43	511.14	27.89
20	6500	3810	30	220	10	0	983.07	.54	520.37	27.92
21	6500	3810	30	210	10	0	998.23	.55	528.81	27.89
22	6500	3810	30	200	10	0	1012.81	.51	537.00	27.92
23	6500	3810	30	190	10	0	1025.56	.43	545.06	27.89

T-J DALAY T-MEAS. PHY
6500 3810 30

N	R	GRAD	DGR	H-COD	D(H-C)	H-ERST
1	410	88.000	88.00	525.68	.50	266.77
2	400	-2.460	-.038	556.71	.58	283.35
3	390	-2.250	-.041	588.74	.48	300.99
4	380	-2.001	-.030	619.58	.56	318.04
5	370	-1.820	-.027	649.37	.41	334.55
6	360	-1.614	-.023	679.13	.31	351.04
7	350	-1.403	-.024	706.31	.38	366.14
8	340	-1.278	-.017	732.22	.60	380.67
9	330	-1.163	-.027	758.05	.32	395.16
10	320	-1.050	-.016	782.56	.58	408.91
11	310	-.974	-.024	806.50	.42	422.30
12	300	-.859	-.018	830.48	.60	435.56
13	290	-.764	-.024	851.53	.53	447.25
14	280	-.711	-.017	873.04	.71	459.16
15	270	-.631	-.020	893.61	.49	470.56
16	260	-.572	-.014	912.73	.52	481.19
17	250	-.516	-.015	931.86	.42	491.85
18	240	-.459	-.011	949.39	.53	501.61
19	230	-.420	-.013	966.50	.43	511.14
20	220	-.372	-.011	983.07	.54	520.37
21	210	-.327	-.012	998.23	.55	528.81
22	200	-.282	-.010	1012.81	.51	537.00
23	190	88.000	88.000	1025.56	.43	545.06

Рис. 4. Образец выдачи информации на телетайп при работе программы "EXP".

Образец выдачи измеренной и обработанной информации на телетайп показан в таблице.

Работа программы "EXP" в режиме " ϕ " происходит аналогично режиму "R" переменная R играет роль азимута ϕ , измерения происходят при фиксированных переменных S и T.

Программы связи ЭВМ с аппаратурой

Обмен информацией между ЭВМ М-6000 и спецконтроллером ^{/2/} системы КАМАК происходит с помощью программ "TIR", "TIME" и "КАМАК"/программы "TIR" и "TIME" подобны программе "КАМАК" и отличаются лишь функциональным назначением/. Обмен информацией производится 16-разрядными словами. Каждому выдаваемому или принимаемому /относительно ЭВМ/ информационному слову предшествует выдача в спецконтроллер командного слова NAF ^{/5/}. При работе программа "КАМАК" использует четыре группы последовательных ячеек памяти ЭВМ, которые названы: "Поле NAF", "Поле JUMP", "Буфером (R)" и "Буфером (W)". В поле NAF на стадии настройки программ вводятся команды NAF в последовательности, определяемой задачами эксперимента. После ввода происходит просмотр поля NAF и в соответствии с функцией F для каждой команды в поле JUMP формируются команды обращения к одной из подпрограмм "READ", "WRITE" или "CLEAR", являющихся составными частями программы "КАМАК".

В буфер (R) принимается информационное слово, а из буфера (W) - выдается в спецконтроллер.

Функциональная схема программы "КАМАК" приведена на рис. 5. Перед приемом информации снимается запрет на опрос системы КАМАК, размаскируется вход в ЭВМ и включается система прерывания.

ЭВМ находится в режиме ожидания сигнала "Готов" от аппаратуры, появление которого означает, что поступила экспериментальная информация. После появления сигнала "Готов" происходит прерывание работы процессо-

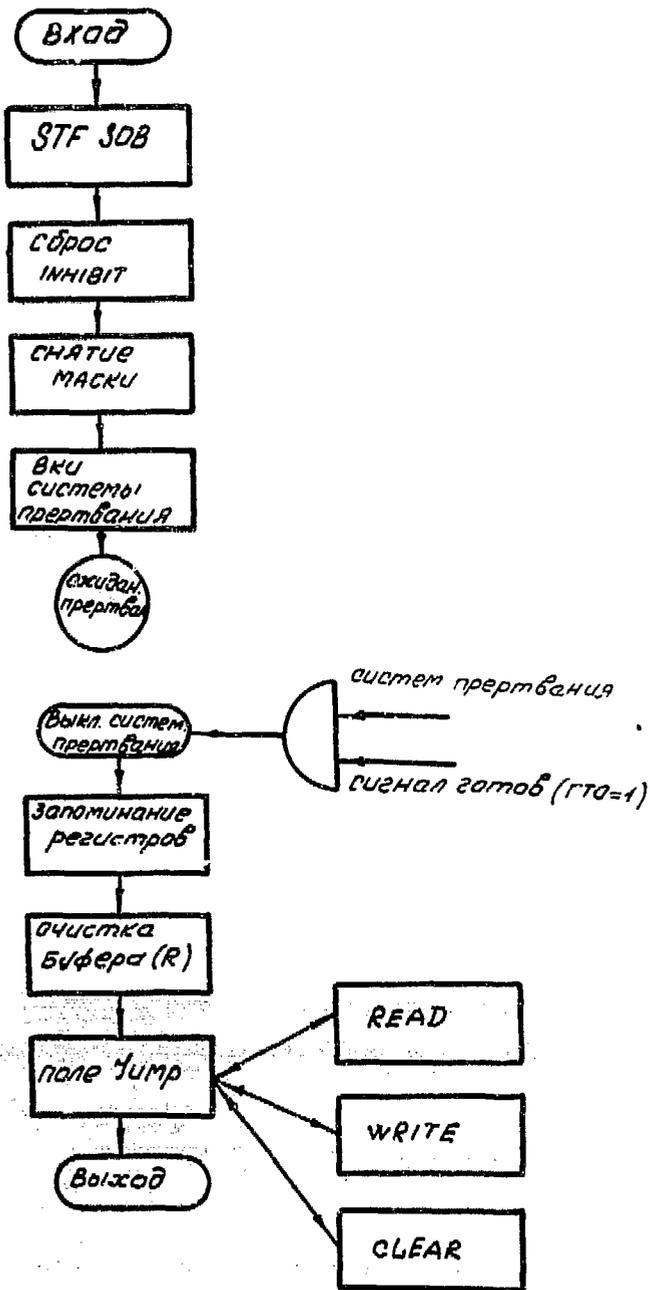


Рис. 5. Функциональная схема программы "КАМАК".

ра, запоминается состояние регистров в момент прерывания и управление передается в поле JUMP, откуда происходит ранее запланированное обращение к подпрограммам "READ", "WRITE", "CLEAR". Обработка принятых данных происходит при отключенной системе прерывания, что исключает возможность порчи принятой информации. По окончании обработки ЭВМ снова переходит в режим ожидания прерывания от аппаратуры.

Непосредственное взаимодействие между ЭВМ и спецконтроллером осуществляют подпрограммы "READ", "WRITE" и "CLEAR".

Подпрограмма "READ" передает содержимое субадреса А блока N в память ЭВМ, подпрограмма "WRITE" осуществляет обратную задачу, подпрограмма "CLEAR" очищает регистры блока N. Функциональные схемы подпрограмм приведены на рис. 6. Сначала в спецконтроллер выдается команда NAF и проверяется - расшифрована ли она: если нет, то операция повторяется, если да, то для подпрограммы "READ" производится прием информационного слова и выдача - для подпрограммы "WRITE".

Программа определения равновесного времени

Для нахождения равновесного времени /времени измерения на радиусе R / использовалось соотношение^{/3/}:

$$H(t) + H_c = \frac{m c^2 \beta \gamma}{e R} \cdot (1 + \mu P), \quad /11/$$

где H_c - постоянная составляющая магнитного поля, $H(t)$ - ускоряющее поле, создаваемое парами импульсных катушек.

Из /11/ методом хорд^{/4/}, реализованным в программе "MARK" /рис. 7/, определялись равновесные времена $T_G(R)$.

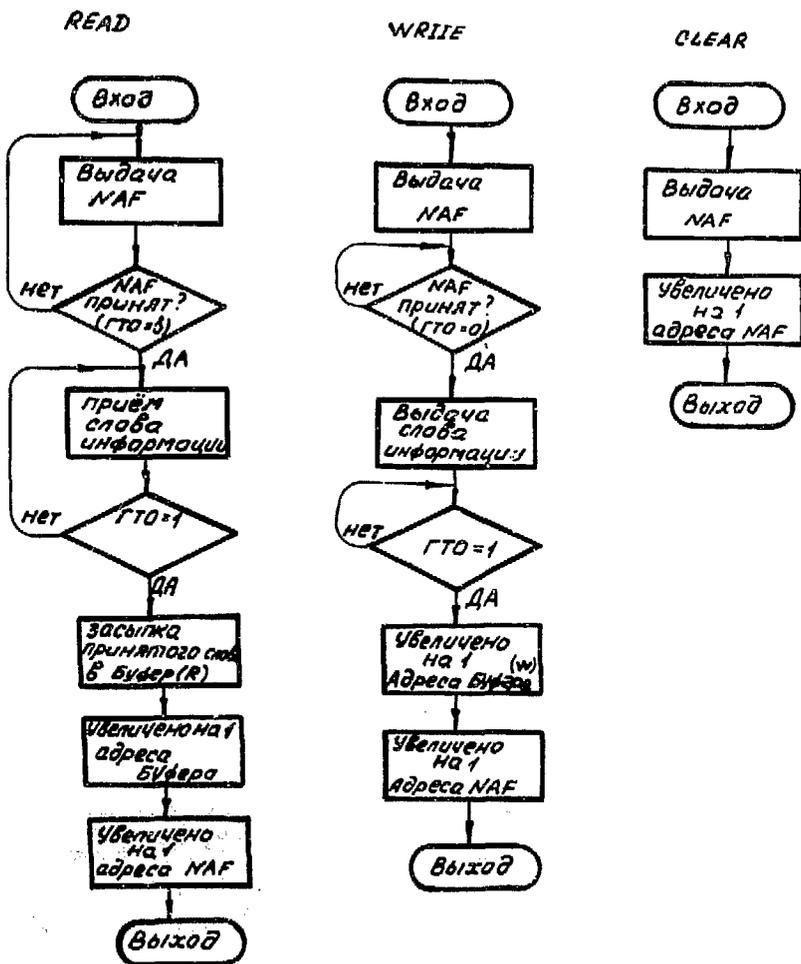


Рис. 6. Функциональные схемы подпрограмм "READ", "WRITE", "CLEAR".

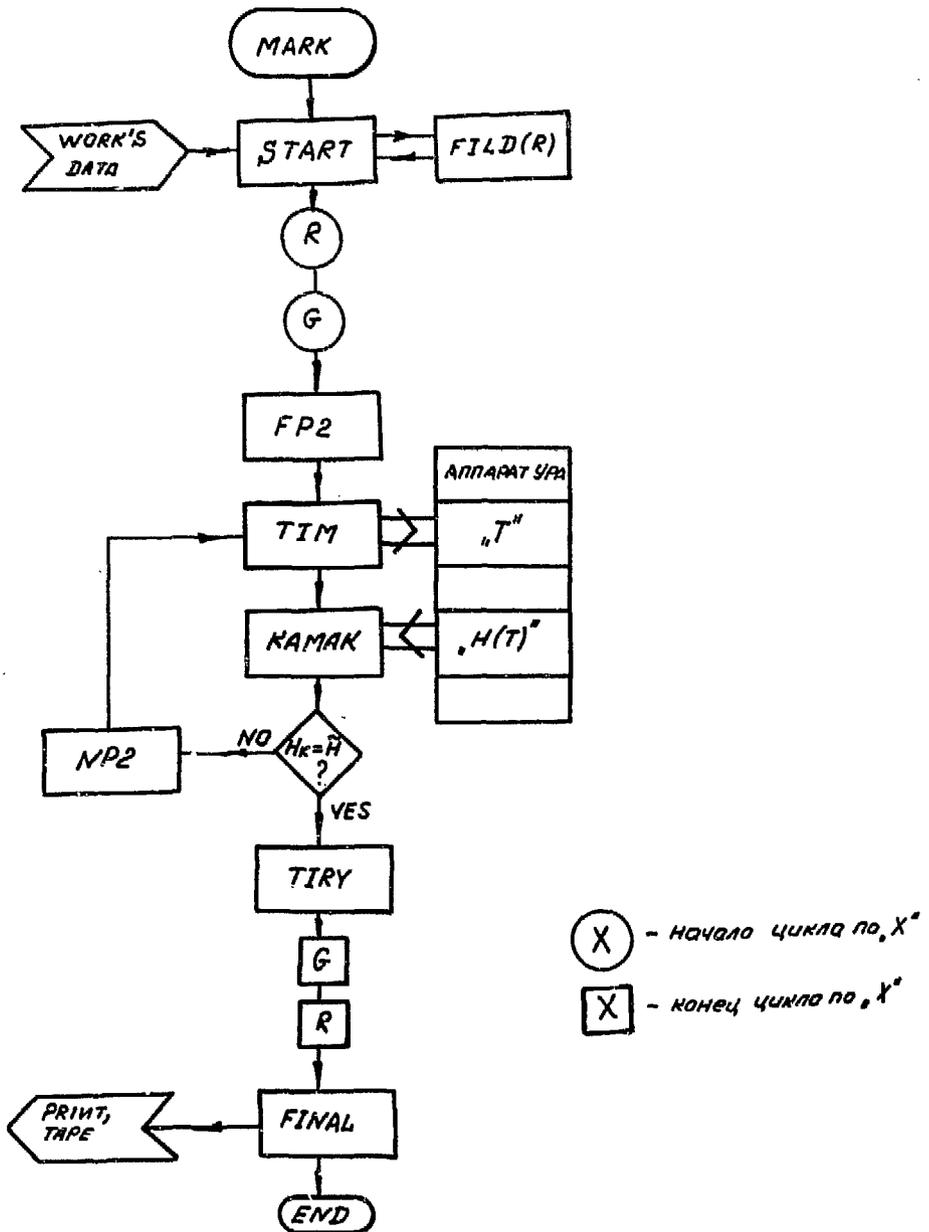


Рис. 7. Функциональная схема программы определения равновесных времен - "MARK".

Перед началом измерений с помощью подпрограммы "START" вводятся необходимые константы и для каждого значения радиусов измерений по формуле /11/ вычисляются значения равновесных полей

$$H_e = H(R, \gamma) . \quad /12/$$

Подпрограммы "FP2" и "NP2" для каждого R и каждого значения начальной энергии γ определяют итерационные хорды, подпрограмма "TIM" заносит в аппаратуру итерационное время - t_r , "КАМАК" принимает значение поля в данный момент времени $H_r(t_r)$.

Как только начинает выполняться неравенство

$$|H_e - H_r(t_r)| < 10^{-4} \cdot H_e , \quad /13/$$

соответствующее время t_r запоминается, и подпрограмма "TRY" формирует в памяти ЭВМ таблицу

$$T_j(R) = t_r , \quad j = 1, 2, \dots, G . \quad /14/$$

По окончании измерений таблица /14/ выводится на печать и на перфоратор /подпрограмма "FINAL"/. Полученная лента используется в программе "EXP".

Компенсация неустойчивости источников питания импульсных катушек адгезатора

В связи с использованием нестабилизированных источников питания для получения корректных результатов возникла необходимость приводить значение поля при каждом измерении к квазистабильному значению. В приближении:

$$H(I_1, I_2, I_3) = \sum_{i=1}^3 a_i(R, T_i, t) \cdot I_i , \quad /15/$$

где I_i - амплитудное значение тока i -ой катушки, T_i - время включения i -ой катушки, a_i - коэффициенты, зависящие от геометрии всей магнитной системы и требующие экспериментального определения.

Получается формула приведения

$$\bar{H} = H + \sum_{i=1}^3 a_i \cdot (\bar{I}_i - I_i) . \quad /16/$$

H, I_1, I_2, I_3 - реальные /измеряемые/ значения поля и амплитуд токов, $\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$ - выбранные /опорные/ значения амплитуд токов и \bar{H} - приведенное значение поля.

Для экспериментального нахождения коэффициентов a_i была создана программа "ALFA". Функциональная схема программы приведена на рис. 8. Перед началом измерений вводятся массивы равновесного времени - $T_G(R)$ и время включения катушек - T_i /п.п."START"/. Для переменных R, G, T организуются соответствующие циклы. Подпрограмма "TIME" засылает в аппаратуру время измерения, подпрограмма "NET", сравнивая время измерения и время включения катушек, определяет число измерений N , необходимое для решения системы уравнений:

$$\bar{H}_k = H_k + \sum_{i=1}^{N-1} a_{ik} \cdot (\bar{I}_i - I_{ik}) , \quad /17/$$

$$N = 2, 3, 4 \quad k = 1, 2, \dots, N$$

относительно неизвестных \bar{H} и a_i .

Подпрограмма "КАМАК" принимает измеряемую информацию: H_k, I_{ik} ; подпрограмма "BANK" выводит ее на дисплей и заносит в ЭВМ. Далее в подпрограмме "RES" решается система уравнений /17/, в памяти ЭВМ формируется массив искомых коэффициентов

$$a_i = a_i(R, t, \gamma) , \quad /18/$$

который может быть передан в программу "EXP" через COMMON -блок.

Результаты проверки такого метода коррекции для работы первой ступени /первой пары катушек/ приведены на рис. 9. По оси абсцисс отложены амплитудные значения тока 1-й катушки, по оси ординат - приведенное значение H . Как видно из рисунка, при изменении тока от 3,6 до 6 кА изменение H лежит в пределах 0,3%.

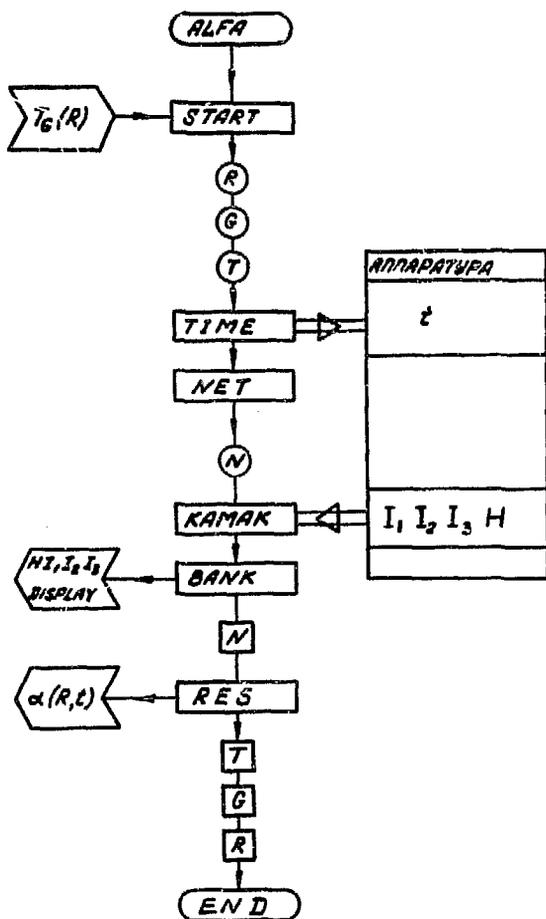


Рис. 8. Функциональная схема программы определения коэффициентов приведения - "ALFA".

Заключение

Благодаря применению ЭВМ в магнитных измерениях за короткий срок удалось обработать большое количество информации, что позволило облегчить работу по формированию магнитного поля в камере адгезатора.

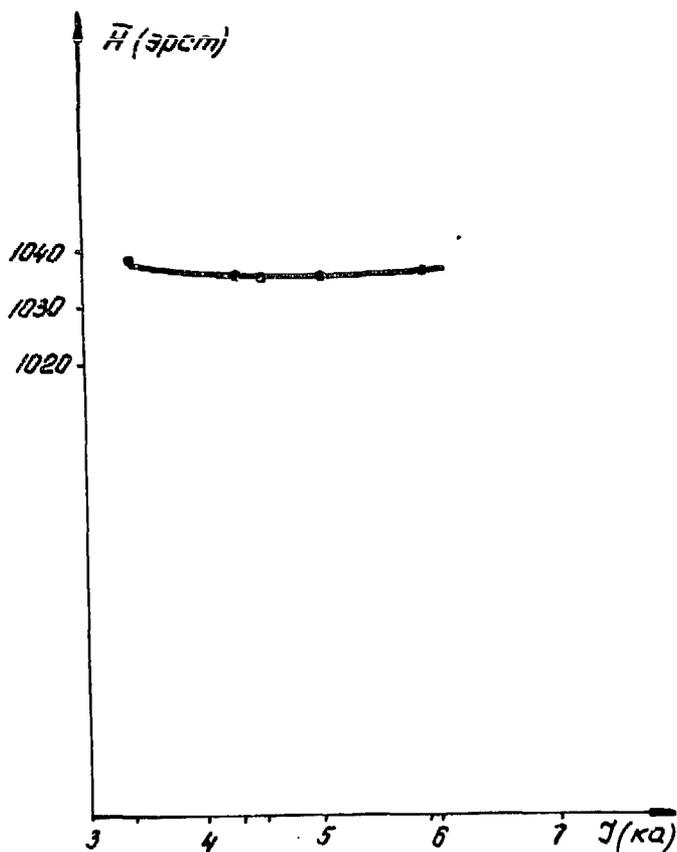


Рис. 9. Результаты проверки компенсации нестабильности источников питания.

Авторы выражают благодарность руководителю группы ЭВМ С.С.Кириллову, а также В.Н.Сотникову, Ю.И.Краснову, М.И.Киселеву и В.В.Аверьяновой за обеспечение бесперебойной работы ЭВМ.

Литература

1. Л.С.Барабаш и др. Препринт ОИЯИ Р9-7697, Дубна, 1974.

2. Т.В.Беспалова и др. "Труды VII Международного симпозиума по ядерной электронике". Будапешт, 1973 г. ОИЯИ, Д13-7616, Дубна, 1974.
3. ЭЧАЯ, т. 1, вып. 2, Атомиздат, М., 1971.
4. П.Ф.Фильчиков. "Численные и графические методы прикладной математики". "Наукова Думка", Киев, 1970.
- 5.

*Рукопись поступила в издательский отдел
7 августа 1974 года.*

Тематические категории публикаций Объединенного института ядерных исследований

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория физики твердого тела

Условия обмена

Препринты и сообщения ОИЯИ рассылаются бесплатно, на основе взаимного обмена, университетам, институтам, лабораториям, библиотекам, научным группам и отдельным ученым более 50 стран.

Мы ожидаем, что получатели изданий ОИЯИ будут сами проявлять инициативу в бесплатной посылке публикаций в Дубну. В порядке обмена принимаются научные книги, журналы, препринты и иного вида публикации по тематике ОИЯИ.

Единственный вид публикаций, который нам присылать не следует, - это репринты /оттиски статей, уже опубликованных в научных журналах/.

В ряде случаев мы сами обращаемся к получателям наших изданий с просьбой бесплатно прислать нам какие-либо книги или выписать для нашей библиотеки научные журналы, издающиеся в их странах.

Отдельные запросы

Издательский отдел ежегодно выполняет около 3 000 отдельных запросов на высылку препринтов и сообщений ОИЯИ. В таких запросах следует обязательно указывать индекс запрашиваемого издания.

Адрес

Письма по всем вопросам обмена публикациями, а также запросы на отдельные издания следует направлять по адресу:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Издательский отдел
Объединенного института
ядерных исследований.*

Адрес для посылки всех публикаций в порядке обмена, а также для бесплатной подписки на научные журналы:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Научно-техническая библиотека
Объединенного института
ядерных исследований.*



Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 18418. Тираж 310. Уч.-изд. листов 1,00.
Редактор Е.Б. Колесова. Подписано к печати 4.9.74 г.